



Comunicação Breve

PROJETO DE EDIFICAÇÃO BASEADA EM PRINCÍPIOS BIOMIMÉTICOS DOS CUPINS DO CERRADO

Antônio Marcos da Silva Oliveira*; Zulina Matoso da Costa Silva*; Lourdiane Gontijo das Mercês Gonzaga**.

**Discente em Engenharia Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) Unidade Curvelo.*

***Doutora em Engenharia de Estruturas pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).*

*Autor para correspondência e-mail: ant.marcos.cvo@hotmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Biomimética
Construções
Cupinzeiros
Engenharia Civil

KEYWORDS

Biomimicry
Buildings
Termite Mounds
Civil Engineering

RESUMO: A biomimética compreende a busca por princípios desenvolvidos pelos seres vivos e mecanismos naturais para aplicação dentro das mais variadas atividades humanas. Pode-se dizer que essa recente ciência se encontra em processo de desenvolvimento dentro de diversas áreas de pesquisa. O estudo das habitações dos cupins e do processo de ventilação utilizado por esses insetos tem se mostrado uma alternativa altamente viável, conforme demonstram algumas construções desenvolvidas na África e Austrália. Diante disso, o presente trabalho envolveu a criação de um modelo de edificação bioinspirada, numa tentativa de aplicar os princípios encontrados na literatura, relativos ao formato da habitação e ao processo de autoarrefecimento utilizados por cupins da espécie *Cornitermes cumulans*, bastante comuns no cerrado brasileiro. Tal modelo inspirou-se no perfil e mecanismo de circulação de ar dos termiteiros dessa espécie, envolvendo a elaboração de um projeto tridimensional e de sua posterior renderização.

BUILDING PROJECT BASED ON BIOMIMICRY PRINCIPLES OF CERRADO TERMITES

ABSTRACT: Biomimicry comprehends the search for principles developed by living beings and natural mechanisms for application within the most varied human activities. It can be said that this new science is in process of development within several areas of research. The study of termite habitats and the ventilation process used by these insects has proven to be a highly feasible alternative, as demonstrated by some constructions developed in Africa and Australia. Therefore, the present work involved the creation of a bioinspired building model in an attempt to apply the principles found in the literature regarding the housing format and the self-cooling process used by termites of the species *Cornitermes cumulans*, very common in the Brazilian cerrado. This model was inspired by the profile and mechanism of air circulation of the analyzed mounds, involving the elaboration of a three-dimensional project and its subsequent rendering.

Recebido em: 12/01/2021

Aprovação final em: 05/04/2021

DOI: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2021.v24i2.757>

INTRODUÇÃO

De acordo com o Relatório do Balanço Energético Nacional (BEN), divulgado pelo Ministério de Minas e Energia (2020), o consumo de energia elétrica no país em 2019 teve um aumento registrado de 1,3%, com destaque para o setor residencial, o qual apresentou uma expansão de consumo de 4,8 TWh (+3,5%). Ainda segundo o mesmo relatório, o aumento da demanda em virtude da procura por climatização residencial foi um dos principais fatores responsáveis por esse salto. Salienta-se que hoje uma das formas mais comuns para resfriamento dos espaços internos ocorre mediante a utilização de condicionadores de ar, uma alternativa nada sustentável. Segundo a *Green Building Council Brasil* (GBC BRASIL, 2016), “utilizar melhor a energia através da execução de projetos de eficiência energética é uma forma rápida e de custo muito menor”.

A utilização de princípios da natureza em projetos humanos, com o objetivo de otimizar recursos ou aperfeiçoar processos e mecanismos, faz parte de uma nova ciência, hoje conhecida como *biomimética* (do grego: *bio*, vida e *mimesis*, imitação) (PRONK; BLACHA; BOTS, 2008). Em outras palavras, trata-se de uma ciência que envolve os aspectos relacionados à imitação da natureza para finalidades inerentes à sociedade humana. Dentro da biomimética, a busca por mecanismos desenvolvidos pelos insetos, como os cupins, já se tornou uma nova realidade. Os processos de ventilação e arrefecimento utilizados em habitações desenvolvidas por espécies da África e Austrália têm se mostrado altamente eficientes, permitindo, hoje, a redução do consumo energético em algumas edificações humanas espalhadas pelo mundo. Como exemplo, citam-se o *Eastgate Centre* e o *Council House 2 (CH2)*, os quais corroboram a viabilidade da aplicação dos conceitos bioinspirados nos atuais projetos de arquitetura e engenharia (BIOMIMICRY INSTITUTE, 2021).

No Brasil, dentre as espécies mais comuns existentes em meio à enorme fauna dos cupins, cita-se o chamado cupim-do-pasto ou cupim-de-montículo, presente em vastas regiões do cerrado. Essa espécie, conhecida no meio científico como *Cornitermes cumulans*, é conhecida por construir habitações de grande resistência às intempéries, em locais de grande exposição ao sol, sendo por isso um importante objeto de estudo entre os interessados pela busca por princípios biomiméticos.

Salienta-se que o presente trabalho apresenta a criação de um projeto de edificação bioinspirada, tendo como base os montículos desenvolvidos pela referida espécie, incluindo os estudos desenvolvidos por Sanchez *et al.* (1989).

METODOLOGIA

Com relação aos métodos de procedimentos e abordagens, pode-se dizer que a presente pesquisa se enquadra no tipo indutivo-experimental, conforme descrevem Lakatos e Marconi (2003). Cumpre salientar que o desenvolvimento de uma edificação bioinspirada corresponde a um projeto baseado em mecanismos naturais e, como tal, buscou-se obedecer às etapas descritas na chamada “espiral do *design* biomimético”.

Foram investigadas as dimensões e estrutura interna da habitação dos cupins, objetivando a identificação de possíveis canais de ventilação, e, com base na literatura consultada e nos resultados observados, procedeu-se à idealização de um projeto bioinspirado, seguindo os conceitos e estratégias naturais desenvolvidos pelas térmitas. As etapas de desenvolvimento do trabalho estão descritas a seguir:

- Investigação dos conceitos e ferramentas desenvolvidos pelas térmitas, levando em consideração as características da espécie em estudo;
- Procedimento de abstração das ideias e estratégias descobertas, obedecendo às etapas da espiral do *design* biomimético;
- Desenvolvimento de projeto de uma edificação bioinspirada por meio da criação de um modelo em CAD (*computer aided design*) e posterior elaboração de um modelo tridimensional renderizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

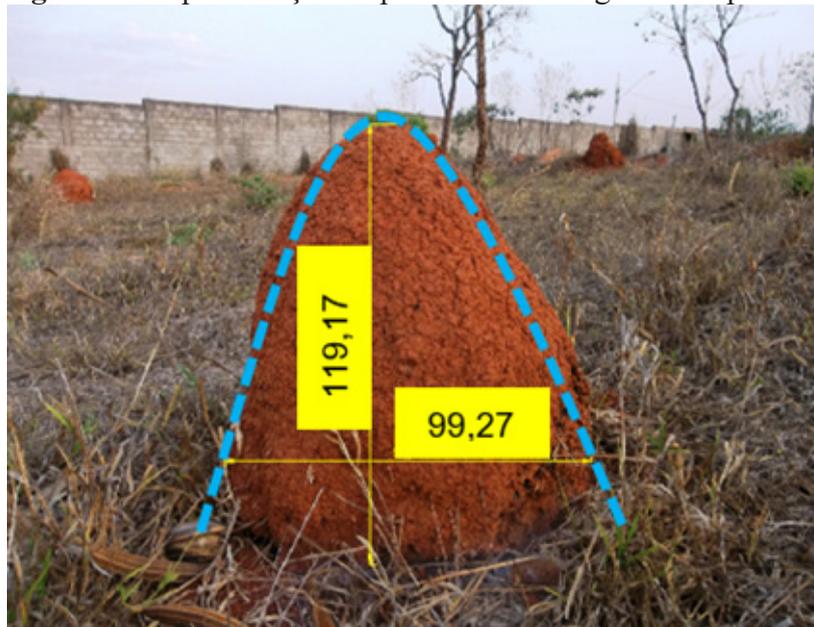
PROJETO DE EDIFICAÇÃO BIOINSPIRADA: A INSPIRAÇÃO NA FORMA DO CUPINZEIRO

O projeto de edificação baseada em montículo de cupim da espécie *Cornitermes cumulans* foi desenvolvido utilizando como referência os estudos de Sanchez *et al.* (1989). É relevante destacar que a biomimética envolve a busca de soluções inspiradas nas formas e funcionalidades da natureza. Foi proposta, por isso, a imitação do formato do termiteiro, buscando maior realidade e verossimilhança entre a moradia desses insetos e as construções humanas.

A escolha de um modelo de cupinzeiro com formato harmônico e de considerável simetria teve como base as fotos coletadas em campo. Após a definição do perfil, intentou-se descobrir a equação matemática que mais se adequasse à forma bidimensional do montículo. Entre as curvas matemáticas mais simples, constatou-se que tanto a elipse quanto a parábola poderiam ser aplicadas como aproximação do formato do cupinzeiro. Ressalta-se, contudo, que a base do montículo não forma um ângulo reto com a superfície do solo, fato este observado para uma semi-elipse disposta sobre uma superfície plana. Em virtude desta pequena constatação, optou-se pela utilização de uma parábola para definição do formato aproximado da edificação bioinspirada. Cumpre salientar que a aplicação de curvas parabólicas na arquitetura não é algo relativamente novo, sendo possível encontrá-las em obras arquitetônicas famosas como a Capela de São Francisco de Assis, do arquiteto Oscar Niemeyer.

Por meio da fotografia do cupinzeiro in loco (Figura 1), foram feitas medições aproximadas da largura e altura da porção do montículo acima do solo. Com o uso de tais dados, fez-se uma proporção entre as medidas coletadas e a largura desejada para a edificação, correspondente a 12 m. Salienta-se que os valores de altura e largura do cupinzeiro na foto são adimensionais.

Figura 1 - Representação de parábola em imagem de cupinzeiro.



Fonte: elaborado pelo autores.

A altura da edificação, proporcional à altura do cupinzeiro, foi igual a 14,40 m, aproximadamente. Com base nestes valores, supôs-se uma equação polinomial de 2º grau com raízes reais iguais a 0 e 12 m, definindo-se assim as coordenadas do vértice da parábola (Equações 1 e 2):

$$x_v = 6,00 \text{ m} \quad \text{Equação 1}$$

$$y_v = 14,40 \text{ m} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

x_v = coordenada do vértice no eixo das abscissas (média aritmética entre as raízes);

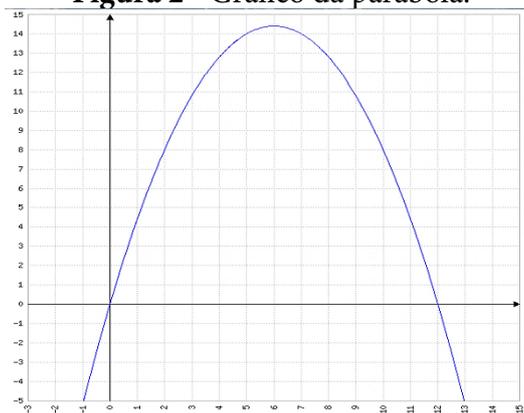
y_v = coordenada do vértice no eixo das ordenadas (altura da parábola acima do eixo das abscissas).

Através das fórmulas das coordenadas do vértice e de algumas manipulações algébricas, foi encontrada a função matemática representativa da parábola em questão (Equação 3):

$$y = -0,4x^2 + 4,8x \quad \text{Equação 3}$$

Tendo em mãos a função matemática, o próximo passo foi traçar o gráfico da parábola (Figura 2). Para tanto, foi necessário o uso de um programa para geração de curvas matemáticas - disponível em meio *on-line* - conhecido como Plotador Matemático MAFA.

Figura 2 - Gráfico da parábola.



Fonte: Plotador Matemático MAFA (2018)¹.

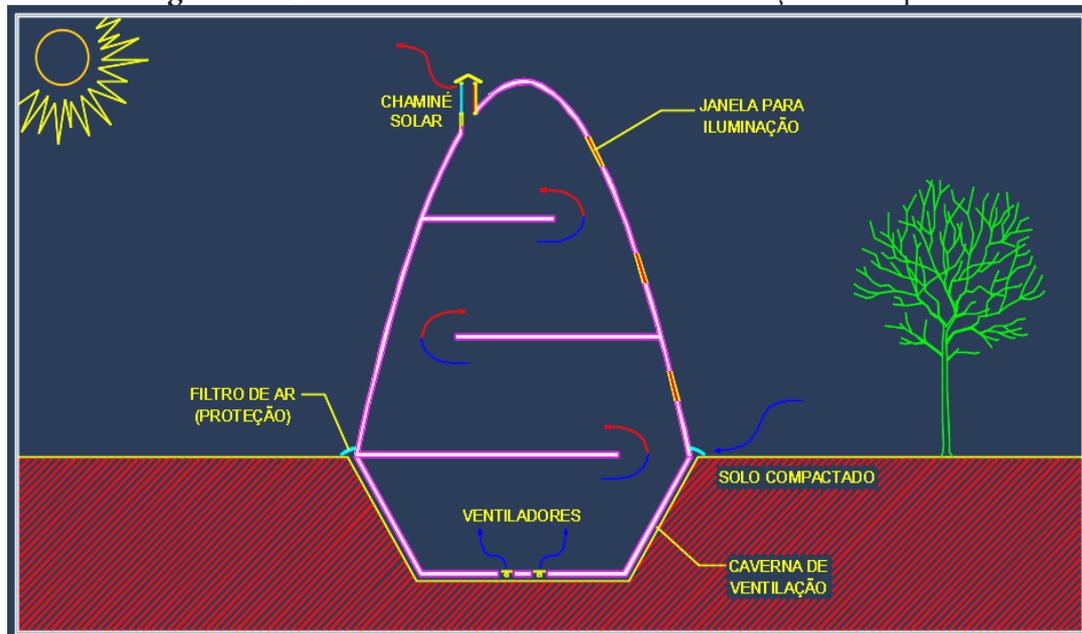
APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DE VENTILAÇÃO

Ainda não se conhece os pormenores do sistema de ventilação dos cupinzeiros da espécie *Cornitermes cumulans*, mas sabe-se que este sistema, de fato, existe. O mecanismo de ventilação da construção bionspirada foi elaborado com base nos estudos de Sanchez *et al.* (1989), os quais informam que as cavernas de ventilação na porção inferior subterrânea do cupinzeiro exercem um papel preponderante no processo de circulação do ar no termiteiro.

A Figura 3 apresenta o corte transversal do modelo de edificação idealizado, elaborado por meio do *software* AutoCAD 2017 (Versão Estudantil), da empresa AutoDesk. A criação de cavernas subterrâneas na base da construção idealizada foi pensada de forma que o ar entrasse por uma abertura circundante localizada na base da edificação, sendo succionado por ventiladores mecânicos na base subterrânea do prédio. Considerando que, em maiores profundidades, o solo se encontra numa temperatura abaixo da temperatura externa, o ar passa por um processo de resfriamento ao entrar em contato com o mesmo, garantindo a entrada de ar fresco na porção inferior da construção.

¹Disponível em: <https://www.mathe-fa.de/pt>. Acesso em: 13 mar. 2020.

Figura 3 - Corte transversal do modelo de edificação bioinspirada.



Fonte: elaborado pelo autores.

A infraestrutura da edificação foi projetada em formato de caixa trapezoidal, de forma que suas paredes ficassem espaçadas por uma distância de 20 cm de todo o solo ao seu redor, estando este devidamente compactado. Cabe salientar que na abertura que contorna todo prédio deverá existir uma proteção externa para processo de filtragem de ar, drenagem e impedimento da entrada de animais.

Observa-se que no topo do edifício foram instaladas chaminés solares com a função de facilitar a troca de ar no interior da estrutura. Conforme destacado por Neves (2012), as chaminés solares garantem uma diferença de pressão em virtude do processo de convecção do ar, permitindo assim a manutenção contínua da ventilação, principalmente nos dias mais quentes e ensolarados. A funcionalidade desse dispositivo se fundamenta na utilização de uma placa absorvedora, a qual se encontra protegida por um isolante térmico, de forma que o calor não seja dissipado para o meio externo. A passagem da radiação solar é facilitada por meio de um painel de vidro com baixa absorvidade. O ar no interior do canal é aos poucos aquecido, havendo mudança de densidade e ascensão do fluido, fenômeno conhecido por convecção natural. É importante salientar que o potencial de utilização da chaminé solar em território brasileiro é consideravelmente alto, tendo em vista a alta incidência de luz em grande parte do país. Destaca-se que o uso de tais aparatos em países tropicais como um todo deve ser altamente considerado.

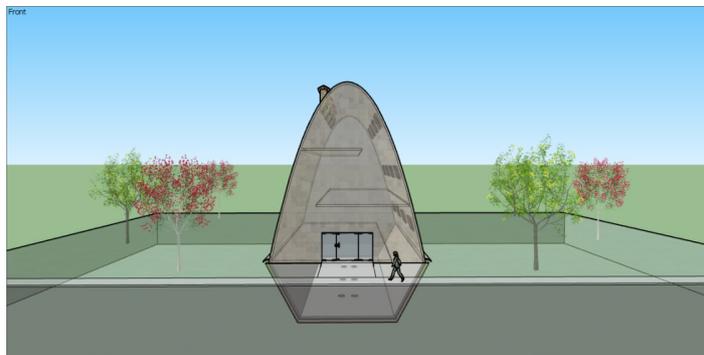
As setas presentes na Figura 3 ilustram o processo de aquecimento e ascensão do ar, até sua saída pelas chaminés. É de suma relevância destacar a importância do posicionamento da edificação com relação ao sol, pois a construção foi pensada de maneira que, no período da tarde, as chaminés possam estar em pleno funcionamento, razão pela qual estas se encontram dispostas no lado oeste.

Em uma das laterais do prédio (lado leste) existem conjuntos de janelas em cada andar para permitir a iluminação natural durante o período da manhã, principalmente nas épocas de outono e inverno. Cumpre ressaltar que as chaminés solares também auxiliam o processo de iluminação, haja vista que a placa de vidro garante a entrada de luz pelo vão da chaminé no teto da edificação, executando função semelhante à de uma claraboia.

Após a criação do corte transversal da edificação por meio de desenho auxiliado por computador (CAD), fez-se a representação do modelo volumétrico da edificação por meio do *software* SketchUp Pro

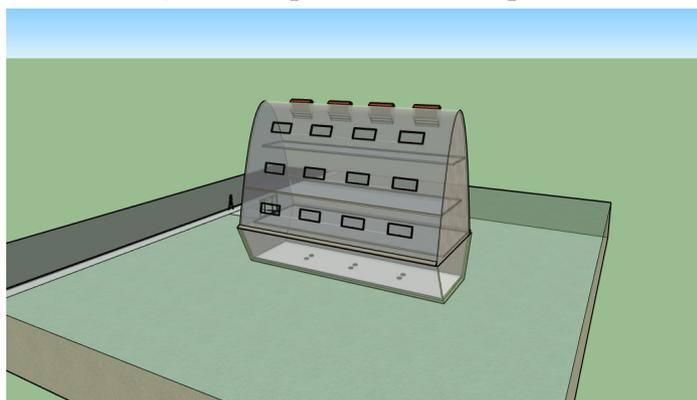
2018, da empresa Trimble. As Figuras 4 a 6 mostram a volumetria com transparência das superfícies, de modo a visualizar o posicionamento da estrutura, com sua porção inferior embutida no solo (vista frontal, lateral leste e lateral oeste, respectivamente).

Figura 4 - Volumetria da edificação bioinspirada com transparência das superfícies (vista frontal).



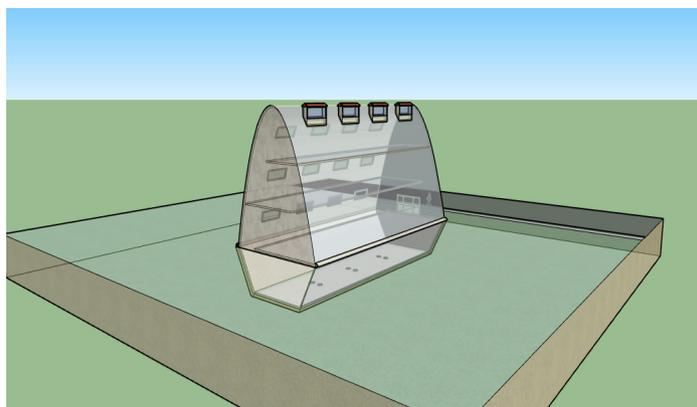
Fonte: elaborado pelo autores.

Figura 5 - Volumetria da edificação bioinspirada com transparência das superfícies (lado leste).



Fonte: elaborado pelo autores.

Figura 6 - Volumetria da edificação bioinspirada com transparência das superfícies (lado oeste).



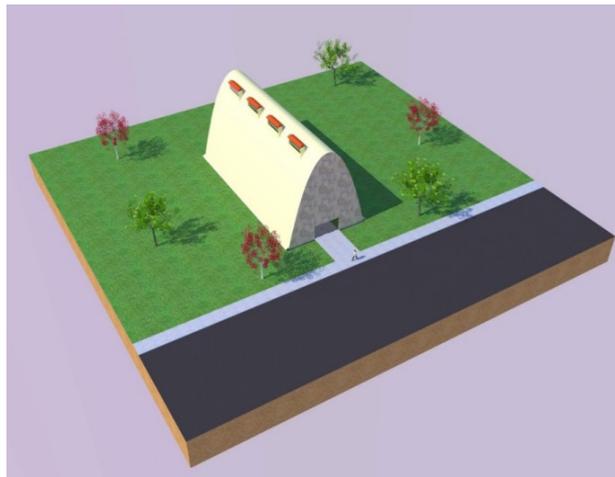
Fonte: elaborado pelo autores.

Destaca-se que não foram elaborados detalhamentos dos elementos estruturais, como fundações e armaduras. Nesse caso, é necessária a realização de cálculos específicos, além de estudos de solo e características do entorno, para um correto e seguro dimensionamento.

RENDERIZAÇÃO DO PROJETO

As imagens da volumetria em SketchUp foram renderizadas por meio do *software* gratuito Kerkythea, com o intuito de se observar o correto posicionamento do sol, iluminação e sombreamento. As Figuras 7 a 12 mostram as imagens renderizadas do modelo volumétrico da edificação bioinspirada. Salienta-se que este projeto é apenas um esboço, uma vez que não foram realizados estudos a fim de verificar a funcionalidade do prédio, bem como sua viabilidade econômica a curto, médio e longo prazo.

Figura 7 - Vista de cima (detalhe do lado oeste do prédio).



Fonte: elaborado pelo autores.

Figura 8 - Vista de cima (detalhe do lado leste do prédio).



Fonte: elaborado pelo autores.

Figura 9 - Fachada do prédio (detalhe do lado oeste).



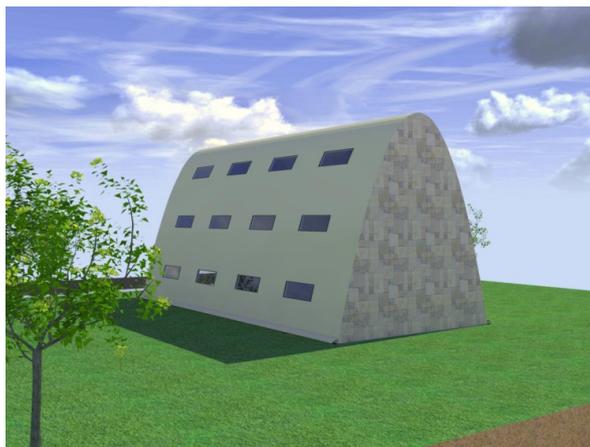
Fonte: elaborado pelo autores.

Figura 10 - Fachada do prédio (detalhe do lado leste).



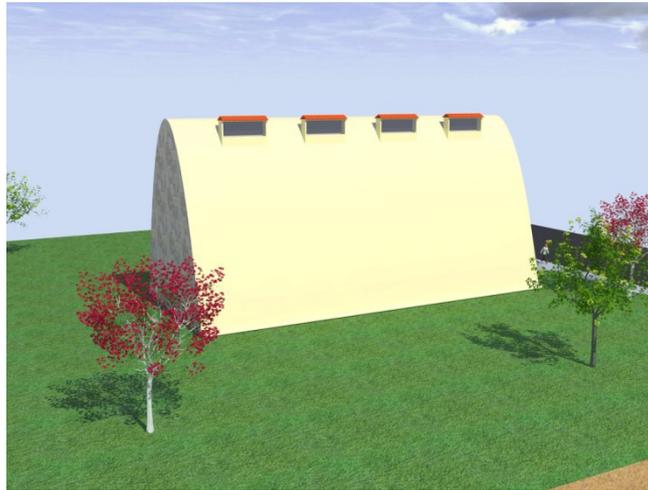
Fonte: elaborado pelo autores.

Figura 11 - Fundos do prédio (detalhe das janelas de iluminação).



Fonte: elaborado pelo autores.

Figura 12 - Lado oeste do prédio (detalhe das chaminés-solares).



Fonte: elaborado pelo autores.

CONCLUSÃO

A busca de soluções inspiradas no mecanismo de adaptação dos seres vivos ou de processos naturais é uma opção interessante diante da busca de produtos ecoeficientes e sustentáveis. A compreensão das técnicas empregadas pelas térmitas na construção de suas habitações é uma alternativa viável para a criação de projetos de edificações bioinspiradas. Os edifícios *Eastgate Centre* e *CH2 Building* são a prova de que a biomimética aplicada às construções pode se tornar uma nova realidade. A natureza está repleta de exemplos de eficiência e economia de recursos. O próximo passo é conhecer a melhor forma de empregá-los, seja em projetos de arquitetura, engenharia ou *design*.

O projeto de edificação bionspirada elaborado neste trabalho, através da idealização de um edifício com base na forma e no processo geral de ventilação de habitações da espécie *Cornitermes cumulans*, é apenas uma tentativa preliminar de aplicação prática dos conceitos da biomimética voltada aos cupins regionais.

Observa-se que os seres humanos têm muito a aprender com esses insetos, sendo necessários novos estudos, para que seja possível uma completa compreensão do processo de circulação de ar dentro da moradia desses animais.

Cumprе salientar que não foi possível verificar a funcionalidade da edificação projetada, nem o seu custo; fatores estes que pesam sobre quesitos importantes como confortabilidade e sustentabilidade. Os gastos energéticos com os mecanismos de ventilação convencionais incrementam a demanda de energia e a conseqüente necessidade de novas matrizes energéticas. Diante disso, a descoberta de formas alternativas de ventilação, prezando pela manutenção do conforto térmico, torna-se uma necessidade cada vez mais premente das moradias e habitações humanas do novo século.

REFERÊNCIAS

AUTOCAD for Windows: computer aided design software. Versão Estudantil, 2017. AutoDesk, 2018. Disponível para download em: <https://www.autodesk.com/education/free-software/autocad>. Acesso em: 17 mar. 2018.

BIOMIMICRY INSTITUTE. **Learning from termites how to create sustainable buildings**. Disponível em: <https://biomimicry.org/biomimicry-examples/#.V5d0ZPkrLIU>. Acesso em: 28 mai. 2021.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **O consumo de energia nas edificações do Brasil**. 2015. Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br/detalhe-noticia.php?cod=119>. Acesso em: 27 nov. 2016.

KERKYTHEA for Windows: **rendering software. Versão 2.0.19**, 2008. Solid Iris Technologies, 2018. Disponível para download em: <http://www.kerkythea.net/cms/index.php/downloads/software>. Acesso em: 17 mar. 2018.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 311 p.

NEVES, L. O. **Chaminé solar como elemento indutor de ventilação natural em edificações**. 158 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2020: Ano Base 2019**. Empresa de Pesquisa Energética: EPE, 2020.

PRONK, A. D. C.; BLACHA, M.; BOTS, A. **Nature's Experiences for Building Technology**. Eindhoven University of Technology. Netherlands, 2008.

SKETCHUP for Windows: 3D modeling software. Versão Pro (Teste Gratuito), 2018. Trimble Navigation, 2018. Disponível para download em: <https://www.sketchup.com/pt-BR/download>. Acesso em: 17 mar. 2018.

SANCHEZ, G.; PERES FILHO, O.; SALVADOR, J.R.; NAKANO, O. Estrutura e sistema de aeração do cupinzeiro de *Cornitermes Cumulans* (Kollar, 1832) (*Isoptera: Termitidae*). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.24, n. 8, p. 941-943, ago. 1989.